

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 197 44 725 A 1

21 Aktenzeichen: 197 44 725.2  
22 Anmeldetag: 10. 10. 97  
43 Offenlegungstag: 15. 4. 99

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 L 5/20  
G 01 P 9/00  
G 01 B 21/22  
G 01 P 3/44  
B 60 C 23/00  
B 60 K 28/16  
B 60 G 17/015  
B 60 T 8/32  
B 62 D 5/04

DE 197 44 725 A 1

71 Anmelder:  
ITT Mfg. Enterprises, Inc., Wilmington, Del., US  
74 Vertreter:  
Blum, K., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

72 Erfinder:  
Fennel, Helmut, 65812 Bad Soden, DE; Latarnik,  
Michael, Dr., 61184 Karben, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

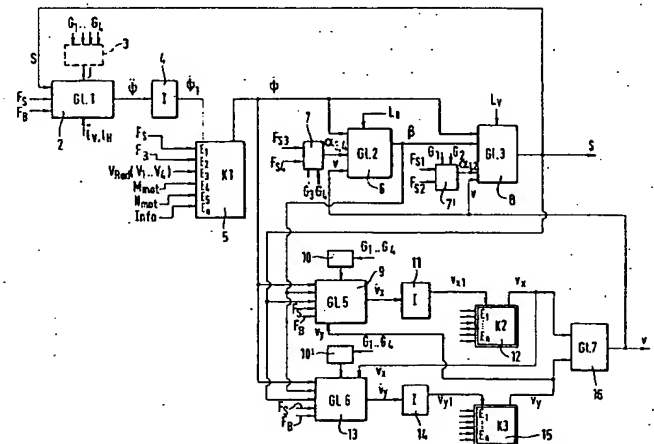
DE 42 08 404 C2  
DE 39 37 966 C2  
DE 196 49 137 A1  
DE 196 21 320 A1  
DE 196 07 050 A1  
DE 195 27 531 A1  
DE 44 35 160 A1  
DE 44 30 458 A1  
DE 42 34 819 A1  
DE 42 00 061 A1  
EP 04 44 109 B1

JP 4-235312 A., In: Patents Abstracts of Japan,  
P-1463, Dec. 25, 1992, Vol. 16, No. 586;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zum Bestimmen von Zustandsgrößen eines Kraftfahrzeuges

57 Bei einem Verfahren zum Bestimmen der Fahrzeugzustandsgrößen auf Basis der auf die einzelnen Räder wirkenden Kräfte, die mit Hilfe von Reifensensoren erfaßt werden, wobei die Meßgrößen die Reifen-Längs- und -Seitenkräfte sowie die Reifen-Aufstandskräfte ( $F_{Si}$ ,  $F_{Bi}$ ,  $G_i$ ) wiedergeben, werden unter Einbeziehung von in Korrekturstufen (K1, K2, K3) ermittelten, geschätzten und/oder errechneten Korrekturgrößen die Gierwinkelgeschwindigkeit und -Beschleunigung, der Lenkwinkel, der Schwimmwinkel des Fahrzeugs sowie die Fahrzeug-Geschwindigkeit und -Beschleunigung ermittelt. Mit Hilfe der Korrekturstufen (K1, K2, K3) werden die von den Radkräften ( $F_{Si}$ ,  $F_{Bi}$ ,  $G_i$ ) abhängigen Größen, Zwischengrößen oder Komponenten in Abhängigkeit von weiteren Meßgrößen, die mit herkömmlicher Sensorik etc. gewonnen wurden und/oder die Fahrsituation wiedergeben, gewichtet.



DE 197 44 725 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 beschriebenen Art. Solche Zustandsgrößen werden insbesondere zum Realisieren oder Verbessern von Kraftfahrzeug-Regelungssystemen benötigt, nämlich von Antiblockiersysteme (ABS), Antriebsschlupfregelungen (ASR), Systeme zur elektronischen Regelung der Bremskraftverteilung (EBV), zur Giermomentenregelung (GMR), zur Fahrstabilitätsregelung (ASMS, FSR, FDR), zur Fahrwerksregelung (FWR) und von anderen.

Aus der Europäischen Patentschrift EP 0 444 109 B1 ist bereits ein Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Kraftfahrzeugs bekannt, das auf der Erfassung von Reifenabdrücken beruht. Neben Reifensensoren, die den Reifenlatsch erfassen, werden noch andere Sensoren zum Erfassen der Raddrehgeschwindigkeiten, des Lenkeinschlags, der Lage der Radaufhängungen, der Schwerpunktsbeschleunigung usw. verwendet. Dieses bekannte Regelverfahren sieht vor, daß mittels der Reifenabdrucksensoren die Kräfte und Momente gemessen werden, die auf die einzelnen Reifen einwirken. Diese Meßergebnisse werden zusammen mit den Informationen, die die anderen Sensoren liefern, dazu genutzt, die Bewegung des Kraftfahrzeuges zu steuern. Das Verfahren ist insbesondere für Fahrzeuge vorgesehen, bei denen alle Räder angetrieben werden und gelenkt werden können.

Aus der DE 39 37 966 C2 ist ein Verfahren zur Bestimmung der Kraftschlußverhältnisse zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn bekannt, bei dem die in dem Fahrzeugreifen in einer horizontalen Richtung und in Normalrichtung beim Durchlaufen des Reifenlatsches auftretenden lokalen Verformungen erfaßt und zur Ermittlung der auf die Reifen wirkenden Kräfte ausgewertet werden. Der Kraftschlußbeiwert wird dann aus dem Verhältnis der Horizontalkraft zur Normalkraft bestimmt.

Der vorliegenden Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, auf Basis solcher Reifensensorik Fahrzeugzustandsgrößen zu bestimmen, die insbesondere für Kraftfahrzeug-Regelungssysteme verwertbar sind und die in bezug auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit die hohen Anforderungen solcher Systeme erfüllen.

Es hat sich herausgestellt, daß diese Aufgabe mit dem im Anspruch 1 beschriebenen Verfahren gelöst werden kann, dessen Besonderheit darin besteht, daß auf Basis der Meßgrößen, die mit Hilfe von Reifenkraftsensoren ermittelt werden und die Reifen-Längskräfte und -Seitenkräfte sowie die Reifen-Aufstandskräfte wiedergeben, unter Einbeziehung von in Korrekturstufen bestimmten, geschätzten und/oder errechneten Korrekturgrößen die Gierwinkelgeschwindigkeit und/oder -beschleunigung, der Lenkwinkel und der Schwimmwinkel des Kraftfahrzeugs sowie die Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrzeugbeschleunigung ermittelt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung von Fahrzeugzustandsgrößen und eine darauf aufbauende Regelung geht also von den direkt am Reifen auftretenden Momenten und Kräften aus. Schon dadurch werden alle Einflußgrößen erfaßt und Fehlinterpretationen, die auf mehrdeutige Sensorsignale oder Verarbeitungsfehler zurückgehen, vermieden oder erschwert. Durch die Berücksichtigung von Korrekturgrößen wird die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Bestimmung von Fahrzeugzustandsgrößen und die Berücksichtigung der jeweiligen Fahrsituation noch wesentlich erhöht bzw. verbessert.

Nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung werden in den Korrekturstufen die von den Reifenkräften abhängigen, mit den Reifensensoren ermittelten Größen, Zwischengrößen und die Komponenten dieser Größen in Abhängigkeit von weiteren Meßgrößen, die z. B. mit konventionellen Sensoren, wie Raddrehzahlsensoren, usw. ermittelt wurden, und/oder mit Größen, die die momentane Fahrsituation (wie Kurvenfahrt, Geradeausfahrt, Reibbeiwert etc.) wiedergeben, gewichtet. Zusätzlich können erfindungsgemäß in den Korrekturstufen noch weitere Größen, die von den Motormomenten, der Motordrehzahl, der Getriebe-Gangstufe usw. abhängen, erfaßt und zur Gewichtung der Fahrzeugzustandsgrößen ausgewertet werden. Dadurch läßt sich z. B. eine sehr weitgehende, sehr genaue Anpassung der Regelung an sehr unterschiedliche Situationen erzielen. Außerdem wird die Fehlersicherheit und das rechtzeitige Erkennen eventueller Defekte erhöht.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung werden die Fahrzeugzustandsgrößen oder Komponenten dieser Größen in separaten Korrekturstufen gewichtet, indem die durch die Reifensensoren bestimmte Größen mit entsprechenden, durch herkömmliche Sensorik und/oder durch die momentane Fahrsituation bestimmten Größen zusammengesetzt und die zusammengesetzten Größen als korrigierte Meßgrößen weiterverarbeitet werden. Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Gierwinkelgeschwindigkeit, die Längskomponente der Fahrzeuggeschwindigkeit und die Querkomponente der Fahrzeuggeschwindigkeit in separaten Korrekturstufen zu erfassen und auszuwerten.

Weitere Einzelheiten der Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beigelegten Abbildungen hervor.

Es zeigen:

Fig. 1 in symbolisch vereinfachter, perspektivischer Darstellung einen Fahrzeugreifen und die an der Aufstandsfläche angreifenden Kräfte,

Fig. 2 schematisch die Aufsicht auf ein Fahrzeug,

Fig. 3 im Diagramm die Abhängigkeit des Schräglaufwinkels eines Rades von der Reifen-Seitenkraft und der Reifen-Aufstandskraft,

Fig. 4 im Blockschaltbild oder Funktionsbild die wichtigsten Komponenten eines Ausführungsbeispiels einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung und

Fig. 5a) bis c) in symbolischer Darstellung Komponenten und Eingangsgrößen der Korrekturstufen der Schaltung nach Fig. 4.

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der Verwendung von Reifensensoren, mit denen die auf die Reifen ausgeübten, auf die Fahrbahn übertragenen Kräfte gemessen werden. In Fig. 1 sind symbolisch die an der Aufstandsfläche eines Reifens auftretenden, mit Reifen-Kraftsensoren gemessenen Kraftkomponenten dargestellt. Mit  $F_L$  ist die Reifen-Längskraft, mit  $F_S$  ist die Reifen-Seitenkraft und mit  $G$  die Aufstandskraft bezeichnet. Diese Kräfte werden individuell für jedes Rad 1-4 ermittelt und ausgewertet. Die Indizes  $i$  ( $i = 1 \dots 4$ ) weisen auf die einzelnen Räder hin; in Übereinstimmung mit der symbolischen Darstellung in Fig. 2 werden üblicherweise das linke Vorderrad mit dem Index 1, das

rechte Vorderrad mit 2, das rechte Hinterrad mit 3 und das linke Hinterrad mit 4 bezeichnet.

Der Fig. 2 ist außerdem die Definition der übrigen der hier verwendeten physikalischen Größen zu entnehmen. Von besonderem Interesse sind die Schräglaufwinkel  $\alpha_i$ , wobei der Index  $i$  das jeweilige Rad bezeichnet, der Schwimmwinkel  $\beta$ , der ein Maß für die Stabilität des momentanen Fahrzustandes ist und daher die Abweichung von der Fahrzeuglängsrichtung ausdrückt. Mit  $\psi$  ist der Gierwinkel bezeichnet, mit  $\delta$  der Lenkwinkel. Der Abstand des Fahrzeugschwerpunktes von der Mitte der Vorderachse ist mit  $l_v$ , der Abstand dieses Schwerpunktes von der Mitte der Hinterachse mit  $l_H$  bezeichnet. Die Spurweite ist  $S_w$  genannt.

In den Figuren und in den folgenden Erläuterungen werden durch einen über dem Symbol angeordneten Punkt die erste zeitliche Ableitung einer physikalischen Größe, durch zwei Punkte die zweite zeitliche Ableitung dargestellt.

Auf Basis der mit den Reifensensoren ermittelten Längs- und Seitenkräfte  $F_{B1} \dots F_{B4}$ ,  $F_{S1} \dots F_{S4}$  und der Aufstandskräfte  $G_1 \dots G_4$  werden folgende Fahrzeuggrößen ermittelt:

$v_x, \dot{v}_x$  = Geschwindigkeit, Beschleunigung des Fahrzeugs in Längsrichtung

$v_y, \dot{v}_y$  = Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung des Fahrzeugs in Querrichtung

$\alpha_i$  = Schräglaufwinkel für das Rad  $i$

$\beta$  = Schwimmwinkel  $\dot{\psi}$  = Gierwinkelgeschwindigkeit

$\delta$  = Lenkwinkel.

Fig. 3 veranschaulicht die Abhängigkeit des Schräglaufwinkels  $\alpha_i$  eines Fahrzeugrades, nämlich des Rades  $i$ , von den auf das jeweilige Rad einwirkenden Reifen-Seitenkraft  $F_{Si}$ . Als Parameter der dargestellten Kurven ist die jeweilige Aufstandskraft  $G_i$  für verschiedene Situationen angegeben. Bei relativ geringer Aufstandskraft (von z. B. 1500 N) führt bereits eine relativ geringe Reifen-Seitenkraft zu einem hohen Schräglaufwinkel  $\alpha_i$ , während z. B. bei einer hohen Aufstandskraft  $G_i = 5500$  N der durch eine bestimmte Reifen-Seitenkraft hervorgerufene Schräglaufwinkel sehr viel geringer ist. Hohe Aufstandskräfte wirken sich also auf die Fahrstabilität eines Fahrzeugs günstig aus. Bei relativ geringer Aufstandskraft der Räder hat bereits eine verhältnismäßig geringe Reifen-Seitenkraft einen hohen Schräglaufwinkel  $\alpha_i$  zur Folge.

Die Schaltungsanordnung oder Funktionsdarstellung nach Fig. 4 enthält eine Eingangsschaltung 2, in der die Gierwinkelbeschleunigung  $\ddot{\psi}$  nach einer Gleichung (1) errechnet wird.

Hierzu werden der Schaltung 2, wie dies durch die zur Schaltung 2, in der die Berechnung nach der Gleichung (1) stattfindet, führenden Pfeile angedeutet ist, die benötigten Eingangsgrößen  $F_{Si}$ ,  $F_{Bi}$ , der Lenkwinkel  $\delta$  und das Trägheitsmoment  $J$  zugeführt. Dieses Trägheitsmoment  $J$  wird entweder als eine von der Fahrzeugkonstruktion abhängige Konstante vorgegeben oder auf Basis der Aufstandskräfte  $G_1$  bis  $G_4$  errechnet, wobei ein Massenverteilungsmodell, das durch den gestrichelten Block 3 symbolisiert ist, zur Anwendung kommen kann. Außerdem sind, wie den zu dem Block 2 führenden Signal-Pfeilen zu entnehmen ist, der Abstand  $l_v$  des Fahrzeug-Schwerpunktes von der Mitte der Vorderachse (V) sowie der Abstand  $l_H$  dieses Schwerpunktes von der Mitte der Hinterachse (H) als Eingangsgrößen erforderlich.

Die vorliegenden Betrachtungen und Berechnungen sind der Einfachheit halber auf eine Fahrzeug-, Fahr- und Fahrbahnebene beschränkt. Zur noch genaueren Erfassung und Analyse der Vorgänge könnte in im Prinzip gleicher Weise auch die Neigung des Fahrzeugs oder das Wanken bzw. die Vertikalbewegung in die Berechnungen einbezogen werden.

Für die Verarbeitung der Eingangssignale in der Schaltung 2 gilt (Gleichung 1):

$$J\ddot{\psi} = -F_{SV} l_v \cos \delta F_{BV} l_v \sin \delta + F_{SH} l_H + 0,5(F_{S2} - F_{S1})S_w \sin \delta + (F_{B4} - F_{B3})S_w/2 + 0,5(F_{B1} - F_{B2})S_w \cos \delta \quad (1)$$

Die einzelnen Größen in dieser Gleichung (1) sind wie folgt definiert:

$$F_{SV} = F_{S1} + F_{S2}; F_{SH} = F_{S3} + F_{S4}$$

$$F_{BV} = F_{B1} + F_{B2}; F_{BH} = F_{B3} + F_{B4}$$

$$F_S = F_{SV} + F_{SH}$$

" $S_w$ " bedeutet "Spurweite"

Aus der Gierwinkelbeschleunigung  $\ddot{\psi}$  wird nach Fig. 4 durch einen Integrationsoperator 4 die Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}_1$  gewonnen. Nach Korrektur mit Hilfe einer Schaltung 5 (Korrekturstufe K1), deren Wirkungsweise und Bedeutung nachfolgend anhand der Fig. 5a erläutert werden, steht am Ausgang dieser Korrekturstufe ein die Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  darstellendes Signal zur Verfügung.  $\dot{\psi}$  ist also eine korrigierte Größe, die aus der von den Reifenkräften abgeleiteten Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}_1$  unter Berücksichtigung von Anfangswerten und Korrekturwerten unterschiedlicher Art, wie nachfolgend anhand der Fig. 5 noch näher erläutert wird, gewonnen wurde.

Denkbar wäre auch ein Verzicht auf diese Korrektur in der Schaltung 5, wenn auf andere Weise im Regelsystem das in besonders ungünstigen Situationen mögliche Auftreten von Fehlmessungen oder Fehlinterpretationen verhindert werden könnte oder wenn das Auftreten solche Fehler mit Sicherheit zu erkennen wäre.

In einer Schaltung oder Stufe 6 wird nun nach der Beziehung (Gleichung 2)

$$\beta = \dot{\psi} L_H' / v - (\alpha_3 + \alpha_4)/2 \quad (2)$$

$$\text{mit } L_H' = (l_H^2 + \frac{1}{4} S_w^2)^{1/2}$$

aus der Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  unter Berücksichtigung des Schräglaufwinkels  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  der Hinterräder und der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  der Schwimmwinkel  $\beta$  errechnet. Der Abstand  $l_H$  des Schwerpunktes von der Mitte der Hinterachse und die Spurweite müssen hierzu ebenfalls bekannt sein. Die Schräglaufwinkel  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  der Hinterräder werden mit Hilfe einer Schaltung 7 oder von entsprechenden Algorithmen bzw. Programmschritten (siehe auch Fig. 3) aus den an den Hinterrädern gemessenen Reifen-Seitenkräften  $F_{S3}$ ,  $F_{S4}$  und den Aufstandskräften  $G_3$ ,  $G_4$  bestimmt.

Der Schwimmwinkel  $\beta$  gibt Aufschluß über den Lenkwinkel  $\delta$ . Der Lenkwinkel wird mit Hilfe einer Schaltung 8 ermittelt, in der der Lenkwinkel  $\delta$  aus dem Schwimmwinkel  $\beta$ , der Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$ , der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und den Schräglaufwinkeln  $\alpha_1, \alpha_2$  der Vorderräder unter Berücksichtigung des Abstandes  $l_v$  zwischen dem Schwerpunkt und der Mitte der Vorderachse und der Spurweite  $S_w$  errechnet wird. Für den Rechenprozeß in der Schaltung 8 gilt die Beziehung (Gleichung 3):

$$\delta = (\alpha_1 + \alpha_2)/2 + \beta + \dot{\psi} l_v/v \quad (3)$$

$$\text{mit } l_v' = (l_v^2 + S_w^2/4)^{1/2}$$

Die Schräglaufwinkel  $\alpha_1, \alpha_2$  der Vorderräder werden wiederum aus den jeweiligen Reifen-Seitenkraftkomponenten  $F_{S1}, F_{S2}$  ermittelt.

Die Schwimmwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\beta}$ , der Lenkwinkel  $\delta$ , die Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$ , die Quergeschwindigkeit und die Reifen-Längskräfte  $F_{B1}$  sowie die Reifen-Seitenkräfte  $F_{S1}$  bestimmen die Längskomponente der Fahrzeugbeschleunigung  $\dot{v}_x$ , wobei die Masse  $m$  nach der Beziehung (Gleichung 4)

$$m = (G_1 + G_2 + G_3 + G_4)/g \quad (4)$$

aus den Aufstandskräften  $G_1$  bis  $G_4$  die errechnet und ausgewertet wird. Eine Schaltung 9 symbolisiert die Rechenvorgänge zur Bestimmung der Längskomponente  $\dot{v}_x$  der Fahrzeugbeschleunigung nach der Beziehung (Gleichung 5):

$$\dot{v}_x = 1/m (F_{SV} \sin \delta - F_{BV} \cos \delta - F_{BH}) + v_y(\dot{\psi} + \beta) \quad (5)$$

Nach Integration in einem Block 11 und Korrektur in einer Schaltung 12 (Korrekturstufe K2) wird aus der Längsgeschwindigkeit  $v_{x1}$  des Fahrzeugs die korrigierte Längskomponente der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  gewonnen.

Die Querkomponente  $\dot{v}_y$  der Fahrzeugbeschleunigung wird, analog zur Längskomponente  $\dot{v}_x$ , mit Hilfe einer Schaltung 13 gewonnen, in der die Querkomponente  $\dot{v}_y$  nach folgender Beziehung (Gleichung 6) bestimmt wird:

$$\dot{v}_y = 1/m (-F_{SV} \cos \delta - F_{BV} \sin \delta - F_{SH}) + v_x(\dot{\psi} + \beta) \quad (6)$$

Es schließt sich wiederum eine Integration in dem Block 14 an, die zur Ermittlung der Fahrzeug-Quergeschwindigkeit  $v_{y1}$  führt. Zur Korrektur (K3) ist eine Schaltung 15 vorgesehen, an deren Ausgang die Querkomponente  $v_y$  der Fahrzeuggeschwindigkeit zur Verfügung steht. Schließlich werden die beiden Komponenten  $v_x, v_y$  in einer als Block 16 dargestellten Schaltung zusammengeführt, in der auf Basis einer Gleichung (7)

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2} \quad (7)$$

die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  aus der Summe der Quadrate beider Komponenten gewonnen wird.

Die Korrekturen in der Korrekturstufe K2 und/oder in der Korrekturstufe K3 sind, ebenso wie die Korrekturen in K1, eventuell entbehrlich oder könnten durch unabhängig von den momentanen Werten der Geschwindigkeits-Längs- und -Querkomponenten  $v_x$  bzw.  $v_y$  ermittelt werden.

Fig. 5 dient zur Erläuterung der prinzipiellen Wirkungsweise der Korrekturstufen K1, K2 und K3 der Schaltungsanordnung nach Fig. 4. In ihrer prinzipiellen Wirkungsweise und ihrem Aufbau sind die drei Stufen gleich, wie auch aus dem folgenden hervorgeht. Natürlich werden solche Schaltungen bei Verwendung programmgesteuerter Schaltungen durch Programmschritte oder Programmteile realisiert.

In der Stufe K1, die in Fig. 5a dargestellt ist, wird die Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  grundsätzlich nach der Beziehung

$$\dot{\psi}(t_n) = f_{\psi} [\dot{\psi}_1(t_n), \dot{\psi}_2(t_n)] \quad (8)$$

gewonnen. In dieser Formel bedeuten  $t_n$  den betrachteten Zeitpunkt oder Ermittlungszeitpunkt, die Komponente  $\dot{\psi}_1(t_n)$  die zum Zeitpunkt  $n$  ermittelte Gierwinkelgeschwindigkeit auf Basis der gemessenen Reifenkräfte. Die Komponente  $\dot{\psi}_2(t_n)$  bezeichnet die auf Basis der konventionellen Radsensorik, mit Hilfe von Motormomentsensoren, Motordrehzahlsensoren usw. und gewonnenen und errechneten Einfluß- und Korrekturgrößen. Auch andere, in dem System verfügbare Informationen können zusätzlich ausgewertet werden, d. h. bei der Bildung der Komponente  $\dot{\psi}_2(t_n)$  berücksichtigt werden. Solche zusätzlichen Informationen werden beispielsweise über interne Bus-Verbindungen, an die auch andere KFZ-Regelungssysteme und Sensoren angeschlossen sind, geliefert. Die momentan eingelegte Gangstufe ist ein Beispiel für eine weitere Einflußgröße.

Fig. 5a veranschaulicht das Zusammenwirken der einzelnen Einfluß- und Korrekturgrößen. In einem Addierer 17 werden die aus den Reifenkräften abgeleitete, gewichtete Komponente  $\dot{\psi}_1 k_1$  und die aus den übrigen Informationen gewonnene, ebenfalls gewichtete Komponente  $\dot{\psi}_2 (1-k_1)$  zusammengesetzt.

Die Gierwinkelgeschwindigkeitskomponenten werden im Arbeitstakt oder Verarbeitungstakt korrigiert. Es gilt nach Gleichung (9):

$$\dot{\Psi}_1(t_{n+1}) = \dot{\Psi}(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \ddot{\Psi} dt \quad (9)$$

Es wird grundsätzlich die beste aktuelle Messung und Schätzung der Gierwinkelgeschwindigkeit dem nächsten Berechnungsschritt (n+1) als Anfangswert zugrunde gelegt.

In der Größe  $\dot{\Psi}$  sind die momentan vorhandenen, aus der konventionellen Sensorik und aus den anderen Quellen hergeleiteten, z. B. über die Bus-Verbindung zur Verfügung gestellten und je nach Situation, Fahrzeugtyp, Antriebsart usw. gewichteten Informationen enthalten. Für ein Fahrzeug mit Frontantrieb gilt beispielsweise

$$\dot{\Psi}_2(t_n) = (v_3 - v_4) / S_W \cdot 1 / (1 + v_2 / v_{CH2}) \quad (10)$$

Für ein Fahrzeug mit Heckantrieb gilt dagegen:

$$\dot{\Psi}_2(t_n) = (v_2 - v_1) / (S_W \cos \delta) \cdot 1 / (1 + v_2 / v_{CH2}) \quad (11)$$

$$\text{mit } \delta = (v_1 - v_2) (l_V + l_H) / S_W v_{CH2} = (l_V + l_H) 2 c_{VCH} / m (c_{HlH} - c_{VlV}) \quad (12)$$

In diesen Formeln sind  $c_V$ ,  $c_H$  die Seitenkraft-Schräglaufwinkelbeiwerte für die Vorderräder (V) und für die Hinterräder (H).

Der Einfluß der aus der konventionellen Reifensensorik und den übrigen Informationen abgeleiteten Größen auf das Regelgeschehen wird entweder durch einen konstanten Wert  $k_1$  oder durch einen variablen, von der Fahrsituation abhängigen Wert ( $k_1 = f(FS)$ ) korrigiert, wobei grundsätzlich eine Korrektur der Meßwerte oder eine Kompensation der fehlenden oder der relativ unsicheren Informationen über andere, aus der herkömmlichen Sensorik und/oder aus den übrigen Informationsquellen abgeleiteten Erkenntnissen stattfindet.

Für die Korrekturstufen K2, K3 gilt entsprechendes. In der Korrekturstufe K2 nach Fig. 5b wird in prinzipiell gleicher Weise wie in der Stufe K1 die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit nach der Beziehung

$$v_x(t_n) = f_{vx} [v_{x1}(t_n), v_{x2}(t_n)] \quad (13)$$

ermittelt, wobei wiederum die Komponente  $v_{x1}(t_n)$  die auf Basis der gemessenen Reifenkräfte ermittelten Informationen darstellt und die Komponente  $v_{x2}(t_n)$  die aus der konventionellen Sensorik, insbesondere Radsensorik, und den anderen Quellen entnommenen, z. B. über die Bus-Verbindung angelieferten Informationen enthält und verarbeitet.

Es wird wiederum der Regelung der aktuelle, d. h. im Augenblick beste, durch Messung, Schätzung, Approximation usw. ermittelte Wert nach der Beziehung

$$v_{x1}(t_{n+1}) = v_x(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \dot{v}_x dt \quad (14)$$

zugrunde gelegt.

In einer bestimmten Situation könnte beispielsweise gelten:

$$v_{x2}(t_n) = V_{REF,ABS} \quad (15)$$

Die Größe  $V_{REF,ABS}$  wäre in diesem Fall die von einem Antiblockiersystem (ABS) zur Verfügung gestellte, dort errechnete Fahrzeug-Referenzgeschwindigkeit. Für die Funktion  $f_{vx}$  gilt dann

$$f_{vx}[v_{x1}, v_{x2}] = k_2 v_{x1} + (1 - k_2) v_{x2}$$

$$0 \leq k_2 \leq 1$$

In diesem Fall ist  $k_2$  eine Konstante oder eine Funktion der Fahrsituation; beispielsweise wird  $k_2 = 0$  oder nähert sich 0 an, wenn eine stabile Fahrsituation erkannt wurde; eine solche stabile Situation liegt z. B. unter folgenden Bedingungen vor:

- Geradeausfahrt ( $F_S \cong 0$ ;  $v_1, v_2, v_3, v_4$  sind annähernd gleich)
- Das Motormoment wird vollständig für die Traktion eingesetzt:

$$M_{mot} = 2 i_S F_{B,links} = 2 i_S F_{B,rechts} \quad (16)$$

mit  $i_S$  = Getriebe-Übersetzungsfaktor.

Je nach Situation und zur Verfügung stehenden Meßdaten können auch andere Kriterien als Hinweis auf eine stabile

Fahrsituation ausgewertet werden.

Fig. 5c, die die Korrekturstufe K3 wiedergibt, dient zur Herleitung der Fahrzeugquergeschwindigkeit  $v_y(t_n)$ . Analog zur oben geschilderten Errechnung der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit gilt für die Fahrzeugquergeschwindigkeit ganz allgemein die Beziehung:

$$v_y(t_n) = f_{vy}[v_{y1}(t_n), v_{y2}(t_n)] \quad (17),$$

wobei entsprechend den anhand der Korrekturschaltung K2 beschriebenen Zusammenhängen die Komponente  $v_{y1}$  dieser Beziehung die auf Basis der gemessenen Reifenkräfte ermittelte Fahrzeugquergeschwindigkeit darstellt.  $v_{y2}$  ist wiederum die von den übrigen Informationen abhängige Komponente; es gilt in analoger Weise das oben im Zusammenhang mit der Errechnung der Längskomponente  $v_{x2}$  Ausgeführte.

Für die fortlaufende Berechnung und Aktualisierung der Ergebnisse gilt

$$v_{y1}(t_{n+q}) = v_y(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \dot{v}_y dt \quad (18)$$

Folglich ist

$$f_{vy}[v_{y1}, v_{y2}] = k_3 v_{y1} + (1 - k_3) v_{y2} \\ 0 \leq k_3 \leq 1 \quad (19)$$

$k_3$  ist auch in diesem Fall eine Konstante oder eine Funktion der Fahrsituation, die in der zuvor erläuterten Weise ermittelt wird.

Zurück zum Ausführungsbeispiel nach Fig. 5a: Die Komponente  $\psi_2$  wird nach Fig. 5a mit Hilfe einer Schaltung oder einer durch Programmierung realisierten Funktion 20 errechnet, wobei die Berechnungen auf Basis von Informationen und Signalen durchgeführt werden, die mit den konventionellen Drehzahlsensoren und/oder mit anderen bekannten Informationsquellen und Sensoren gewonnen wurden. Als Beispiel für Eingangsgrößen sind in Fig. 5a das aktuelle Motormoment  $M_{mot}$ , die Motordrehzahl  $N_{mot}$ , die speziellen Bedingungen für die Übertragung des Motormomentes auf die Straße (z. B. der eingelegte Gang) und andere Gegebenheiten – symbolisiert durch den Eingangspfeil "Info" –, die die Auswirkung des Motormomentes auf das Raddrehverhalten beeinflussen, angegeben. Dies sind wichtige Größen zur Erfassung des momentanen dynamischen Zustandes des Fahrzeugs.

Bei einer Geradeausfahrt des Fahrzeugs, bei der die Seitenkräfte naturgemäß klein sind, bei einer Kurvenfahrt, bei hohen und bei niedrigen Reibbeiwerten, bei homogener und inhomogener Fahrbahn, bei geringen und bei hohen Geschwindigkeiten usw. ergeben sich jeweils unterschiedliche Fahrsituationen, die auf die Aussagekraft der über die Reifensensorik ermittelten Fahrzeugzustandsgrößen im Vergleich zu den Kompensationsgrößen großen Einfluß besitzen. Daher ist es zweckmäßig, die Komponente  $\psi_1$ , die aus der Reifensensorik abgeleitet ist, und die mit herkömmlichen Radsensoren etc. gewonnene Komponente  $\psi_2$  in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Fahrsituationen zu gewichten. Dies geschieht nach Fig. 5a in den Schaltungen oder Programmschritten 21, 22. Eine Annäherung von  $k_1$  an den Wert 1 bedeutet einen hohen Einfluß bzw. eine hohe Abhängigkeit des Regelgeschehens von den mit der Reifensensorik gemessenen Werten, während ein kleiner Wert von  $k_1$ , z. B.  $k_1=0$  oder nahe 0, eine weitgehende Abhängigkeit der Regelung von den auf andere Weise ermittelten Korrektur- und Kompensationswerten bedeutet.

Für die Wirkungsweise der Korrekturstufen K2 (Fig. 5b) und K3 (Fig. 5c), die die Schaltungen 23–25 und 26–28 umfassen, gilt prinzipiell das gleiche wie für die anhand der Fig. 5a erläuterte Korrekturstufe K1. Die mit der Schaltungsanordnung nach Fig. 4 gewonnenen Geschwindigkeitskomponenten  $v_{x1}$  und  $v_{y1}$ , die weitgehend – bis auf die Korrektur in K1 – von den Reifensensorik-Meßwerten abhängig sind, werden mit Hilfe der der Korrekturstufen und Schaltungen nach den Fig. 5b und Fig. 5c in Abhängigkeit von den Größen  $v_{x2}$  und  $v_{y2}$  und von den Faktoren  $k_2$  und  $k_3$  gewichtet. Die Größen  $v_{x2}$  und  $v_{y2}$  sind wiederum von verschiedenen Größen, z. B. von Radsensorsignalen, der Fahrsituation und den zuvor geschilderten Einflüssen oder von fest vorgegebenen Größen abhängig. Die Gewichtung der aus den verschiedenen Quellen und Berechnungsmethoden stammenden Komponenten ist also, in gleicher Weise wie anhand der Fig. 5a beschrieben, von der Fahrsituation und "Treffsicherheit" bzw. Zuverlässigkeit und Genauigkeit der ermittelten Größen abhängig.

Die gewichteten Größen werden nach Fig. 5a in dem Addierer 17, in den Fig. 5b und 5c in Addierern 18 und 19 zusammengesetzt.

Auf Basis der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelten Fahrzeugzustandsgrößen lassen sich die eingangs erwähnten Kraftfahrzeug-Regelungssysteme und auch andere entscheidend verbessern. Da die Regelungsgrößen direkt von den Fahrzeugrädern abgeleitet werden und damit unmittelbar die zu regelnde Größe oder Größen erfaßt werden, ist die Gefahr von Fehlinterpretationen und Verfälschungen während des Informations-Verarbeitungsvorgangs vergleichsweise gering. Diese Sicherheit wird durch die Überwachung und Korrelation mit den auf herkömmlichen Wegen gewonnenen Informationen – dies findet in den Korrekturstufen K1 bis K3 statt – noch entscheidend verbessert, so daß auch extreme Bedingungen erfaßt und Fehlfunktionen unmittelbar erkannt werden. Es ist zu erwarten, daß dadurch der für das komplette Regelungssystem erforderliche Gesamtaufwand vergleichsweise gering wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Fahrzeugzustandsgrößen, bei dem die auf die einzelnen Räder und Reifen wir-



kenden Kräfte mit Reifenkräftesensoren gemessen und zum Ermitteln von Regelgrößen für ein Kraftfahrzeug-Regelungssystem, wie ABS, ASR, EBV, GMR, ASMS (FSR, FDR), FWR etc., ausgewertet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf Basis von Meßgrößen ( $F_{Si}$ ,  $F_{Bi}$ ,  $G_i$ ), die mit Hilfe der Reifenkräftesensoren ermittelt wurden und die die Reifen-Längskräfte ( $F_{Si}$ ) und -Seitenkräfte ( $F_{Bi}$ ) sowie die Reifen-Aufstandskräfte ( $G_i$ ) der Räder ( $i=1 \dots 4$ ) wiedergeben, unter Einbeziehung von in Korrekturstufen ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) bestimmten, geschätzten und/oder errechneten Korrekturgrößen oder Korrekturwerten, die Gierwinkelgeschwindigkeit ( $\dot{\psi}$ ) und/oder die Gierwinkelbeschleunigung, der Lenkwinkel ( $\delta$ ) und der Schwimmwinkel ( $\beta$ ) des Fahrzeugs sowie die Fahrzeuggeschwindigkeit ( $v$ ) und/oder die Fahrzeugbeschleunigung ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in den Korrekturstufen ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) die von den Reifenkräften abhängigen bzw. mit den Reifenkräftensensoren ermittelten Größen und/oder Komponenten dieser Größen in Abhängigkeit von weiteren Meßgrößen, die mit konventionellen Sensoren, wie Raddrehzahlsensoren, etc., ermittelt wurden, und/oder mit die momentane Fahrsituation wiedergebenden Größen (Kurvenfahrt, Geradeausfahrt, Reibbeiwert etc.) gewichtet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in den Korrekturstufen ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) ausschließlich oder zusätzlich Größen, die von den Motormomenten ( $M_{mot}$ ), der Motordrehzahl, der Getriebe-Gangstufe etc. abhängig sind, erfaßt und zur Gewichtung der Fahrzeugzustandsgrößen oder der Komponenten dieser Größen ausgewertet werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in separaten, voneinander unabhängigen Korrekturstufen ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) Fahrzeugzustandsgrößen oder Komponenten dieser Größen gewichtet werden, indem die durch die auf Basis der Reifensensorik gemessenen Größen ( $\dot{\psi}_1$ ,  $v_{x1}$ ,  $v_{y1}$ ) mit entsprechenden, durch herkömmliche Sensorik gewonnenen und/oder von der momentanen Fahrsituation, von den Motormomenten etc. bestimmten Größen ( $\dot{\psi}_2$ ,  $v_{x2}$ ,  $v_{y2}$ ) zusammengesetzt und die zusammengesetzten Größen als korrigierte Größen ( $\dot{\psi}$ ,  $v_x$ ,  $v_y$ ) weiterverarbeitet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die auf Basis der Reifenkräfte bzw. der Reifensensorik gemessenen Größen ( $\dot{\psi}_1$ ,  $v_{x1}$ ,  $v_{y1}$ ) und die mit der herkömmlichen Sensorik gewonnenen und/oder von der momentanen Fahrsituation abhängigen Größen ( $\dot{\psi}_2$ ,  $v_{x2}$ ,  $v_{y2}$ ) gewichtet (Faktoren  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) und die gewichteten Größen zur Bildung der korrigierten Größen ( $\dot{\psi}$ ,  $v_x$ ,  $v_y$ ) zusammengesetzt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Gierwinkelgeschwindigkeit des Fahrzeugs, die Längskomponente der Fahrzeuggeschwindigkeit und die Querkomponente der Fahrzeuggeschwindigkeit in separaten Korrekturstufen ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) gewichtet und zur Bildung der korrigierten Größen ( $\dot{\psi}$ ,  $v_x$ ,  $v_y$ ) in Addierern (17, 18, 19) mit den durch die herkömmliche Sensorik gewonnenen und/oder von der momentanen Fahrsituation abhängigen, ebenfalls gewichteten Größen zusammengesetzt werden.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Fahrzeugzustandsgrößen ( $\dot{\psi}$ ,  $v_x$ ,  $v_y$ ) die auf Basis der Reifenkräfte ermittelten Größen ( $\dot{\psi}_1$ ,  $v_{x1}$ ,  $v_{y1}$ ) in jedem Rechenschritt ( $t_{n+1}$ ) durch Korrelation mit den aktuellen, mit Hilfe der herkömmlichen Sensorik gewonnenen und/oder von der momentanen Fahrsituation abhängigen Größen nach den Gleichungen (9, 14, 18)

$$\dot{\psi}_1(t_{n+1}) = \dot{\psi}(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \ddot{\psi} dt \quad (9) \quad 40$$

$$\text{bzw.} \quad v_{x(y)1}(t_{n+1}) = v_{x(y)}(t_n) + \int_{t_n}^{t_{n+1}} \dot{v}_{x(y)} dt \quad (14, 18) \quad 45$$

aktualisiert werden, mit

$$\dot{\psi}(t_n) = f_{\dot{\psi}}[\dot{\psi}_1(t_n), \dot{\psi}_2(t_n)] \quad (8) \quad 50$$

bzw.

$$v_{x(y)}(t_n) = f_{v_{x(y)}}[v_{x1(y)1}(t_n), v_{x2(y)2}(t_n)] \quad (13, 17), \quad 55$$

wobei die Komponenten  $\dot{\psi}_1(t_n)$ ,  $v_{x1(y)1}(t_n)$  auf Basis der Reifenkräfte, die Komponenten  $\dot{\psi}_2(t_n)$ ,  $v_{x2(y)2}(t_n)$  mit Hilfe der konventionellen Sensorik etc. gewonnen werden.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die auf Basis der Reifenkräfte ermittelten Größen ( $\dot{\psi}_1(t_{n+1})$ ,  $v_{x1}(t_{n+1})$ ,  $v_{y1}(t_{n+1})$ ) durch aktuelle Schätzung auf Basis der momentanen, aktuellen Zustandsgrößen ( $\dot{\psi}(t_n)$ ,  $v_x(t_n)$ ,  $v_y(t_n)$ ), quasi als Anfangswerte für den nächsten Berechnungsschritt ausgewertet werden, berechnet werden.

-Leerseite -

Fig. 1

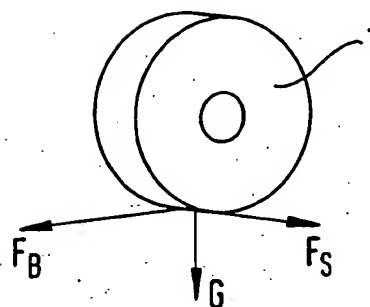


Fig. 2

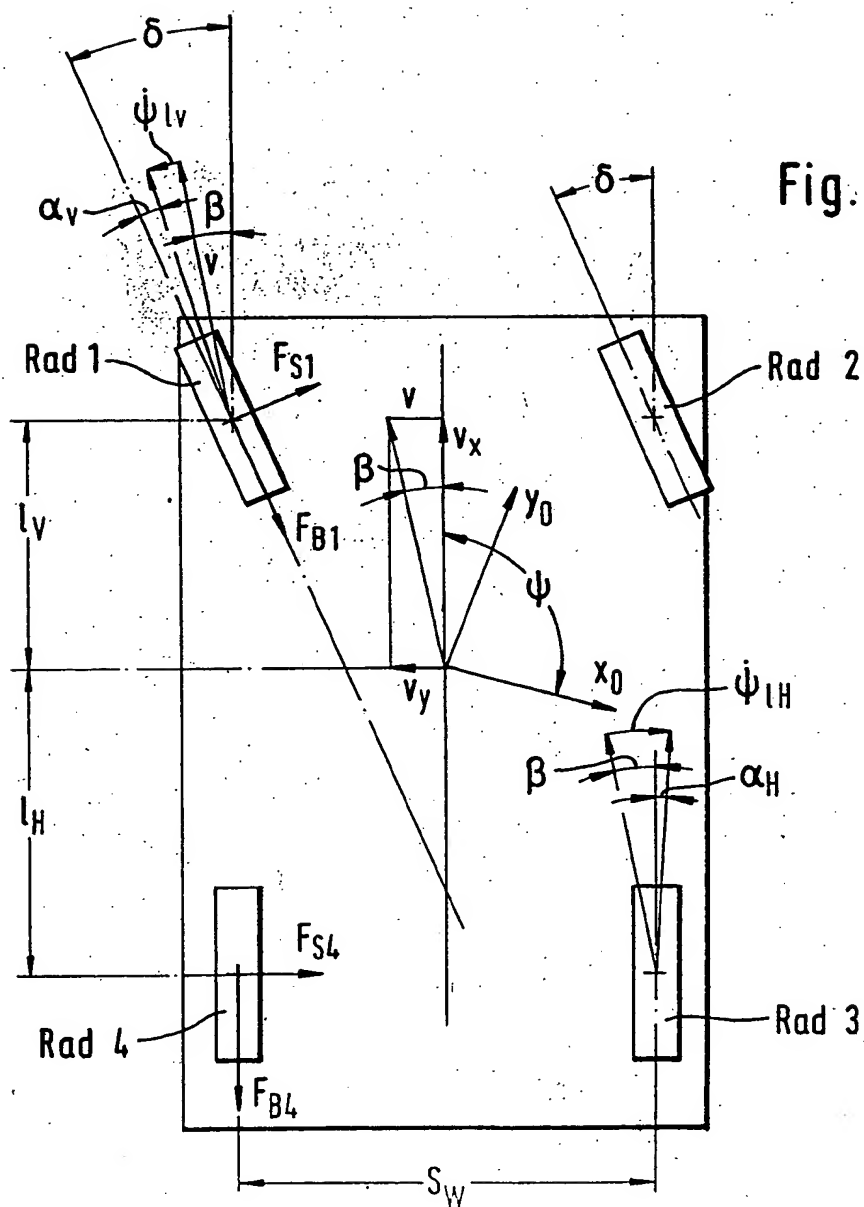
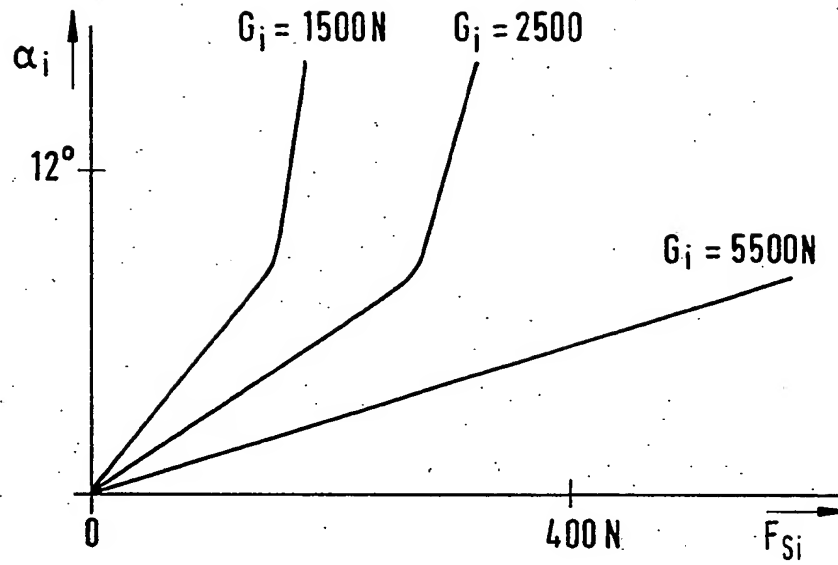


Fig. 3



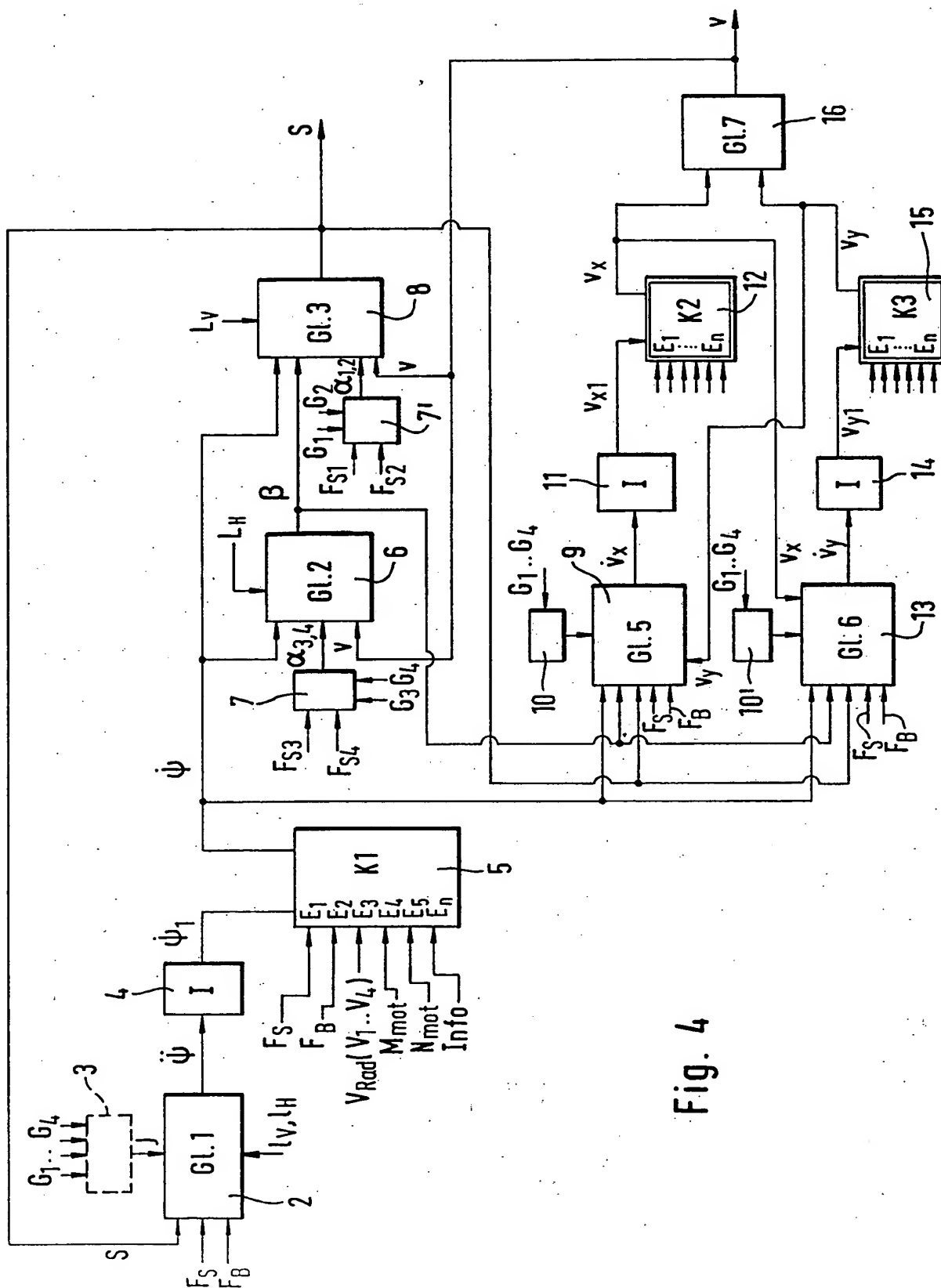


Fig. 4

Fig. 5a

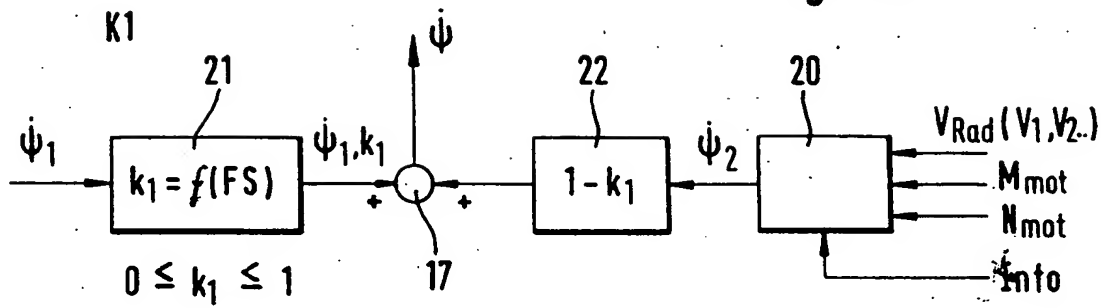


Fig. 5b

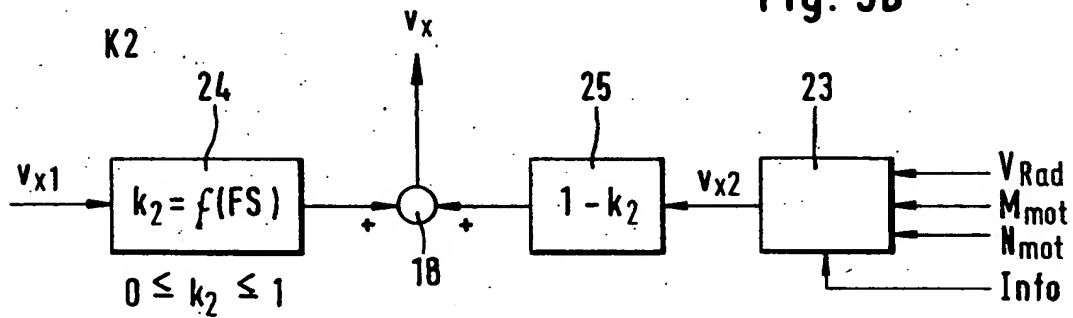


Fig. 5c

